نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) / الف / جلد 30 / شماره 1 / 1395

Archive of SID

# تغییرات شکل‌های مختلف پتاسیم خاک در مراحل مختلف رشد گندم

مهدی نجفی قیری[1]

استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز؛ mnajafighiri@yahoo.com

دریافت: 93/2/27 و پذیرش: 94/10/7

## چکیده

**تغییرات شکل‌های پتاسیم خاک شامل محلول، تبادلی و غیرتبادلی در مراحل مختلف رشد گندم (Triticum aestivum L.) می‌تواند در مدیریت این عنصر پرمصرف و آگاهی از چرخه آن در خاک مهم باشد. برای بررسی این امر، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی در یک مزرعه نه هکتاری در سال زراعی 1391-1392 انجام گردید و نمونه‌های خاک از اعماق 0-15 و 15-30 سانتیمتری قبل از کشت گندم و در مراحل مختلف رشد آن تا مرحله رسیدن کامل دانه و همچنین نمونه‌های گیاهی در مراحل مختلف رشد گندم جمع آوری شد و شکل‌های مختلف پتاسیم شامل محلول، تبادلی و غیرتبادلی در خاک و پتاسیم کل در گیاه اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که پتاسیم محلول خاک سطحی در مراحل اولیه رشد گیاه تا مرحله ساقه روی کاهش شدیدی نشان داد و پس از آن ثابت ماند، اما در خاک زیرسطحی این تغییرات دارای دامنه کمتری بود. کاهش معنی‌دار پتاسیم تبادلی خاک سطحی در مراحل ساقه روی و رسیدن کامل دانه اتفاق افتاد؛ اما در خاک زیرسطحی این کاهش در مرحله شیری شدن روی داد. تغییرات پتاسیم غیرتبادلی خاک سطحی در مرحله رسیدن کامل دانه بود در حالیکه افق زیرسطحی تغییرات محسوسی را نشان نداد. مجموع پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی در مراحل رشد گندم از 759 میلی‌گرم بر کیلوگرم به 720 و 680 میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب در مراحل ساقه روی و رسیدن کامل دانه کاهش یافت. به طور کلی کاهش مقدار پتاسیم قابل استخراج به وسیله اسید نیتریک در خاک سطحی بیش از پنج برابر خاک زیرسطحی بود. غلظت پتاسیم در اندام‌های هوایی گیاه در مرحله پنجه‌زنی افزایش یافته به 6/8 درصد رسید و پس از آن تا مرحله رسیدن کامل دانه کاهش و به 1/1 و 0/8 درصد به ترتیب در بخش رویشی و بذر رسید. به طور کلی نتایج نشان از حداکثر سرعت جذب پتاسیم در مرحله ساقه روی گندم دارد که در مدیریت مصرف کودهای پتاسیم می‌تواند به عنوان ابزاری کلیدی در نظر گرفته شود. از طرف دیگر در برآورد میزان پتاسیم قابل استفاده خاک، نقش پتاسیم غیرتبادلی و پتاسیم خاک زیرسطحی نیز باید در نظر گرفته شود.**

**واژه‌های کلیدی:** خاک زیرسطحی، ساقه روی، پتاسیم غیرتبادلی، پتاسیم تبادلی، پتاسیم محلول

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: فارس، داراب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی

www.SID.ir

Archive of SID

## مقدمه

عوامل مختلفی بر شکل‌های پتاسیم شامل محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی اثر می‌گذارند. از جمله این عوامل می‌توان به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (توزیع اندازه‌ای ذرات، قابلیت هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم معادل و ظرفیت تبادل کاتیونی)، نوع کانی‌های خاک، تکامل خاک و رژیم های رطوبتی و حرارتی خاک اشاره کرد (نجفی قیری و همکاران، 2011؛ نجفی قیری و همکاران، 2010). تعادل موجود بین چهار شکل پتاسیم ممکن است تحت تأثیر عوامل نامبرده قرار گیرد. به طور کلی می‌توان گفت که تعادل بین پتاسیم محلول و تبادلی سریع، اما تعادل بین پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی به کندی صورت می‌گیرد. تعادل شکل‌های پتاسیم با پتاسیم ساختمانی نیاز به زمانی بیشتر از یک فصل رشد گیاهی داشته و در نتیجه هوادیدگی کانی‌های پتاسیم دار مانند میکاها و فلدسپاتها اتفاق می‌افتد (هاولین و همکاران، 1999). در طول فصل رشد گیاه پتاسیم به شکل محلول از خاک سطحی و زیرسطحی جذب می‌شود و با تخلیه پتاسیم محلول خاک، شکل‌های تبادلی و غیرتبادلی می‌توانند آنرا جایگزین کنند. با توجه به آهنگ جذب متفاوت پتاسیم توسط گیاه در مراحل مختلف رشد، تعادل بین شکل‌های پتاسیم در خاک سطحی و زیرسطحی نیز دستخوش تغییر می‌گردد (گرگوری و همکاران، 1979؛ زورب و همکاران، 2013).

از آنجا که غلات و بویژه گندم (*Triticum aestivum* L.) نقش مهمی در الگوی مصرف کشور دارند و از مهمترین تولیدات غذایی انسان به شمار می‌روند بررسی وضعیت تغذیه پتاسیم این گیاه مهم می‌باشد. مطالعات متعددی در مورد غلظت عناصر مختلف شامل نیتروژن، فسفر، مس، منگنز و روی در مراحل مختلف رشد گیاه گندم انجام شده است. زاهدی فر و همکاران (1390) بیان کردند که غلظت فسفر و روی در اندام‌های هوایی گندم از انتهای مرحله پنجه‌زنی تا مرحله رسیدن کامل دانه کاهش یافت. در مطالعه دیگری نشان داده شد که غلظت نیتروژن، فسفر و مس در کل اندام هوایی و بخش‌های مجزای گندم با رشد گیاه به تدریج کاهش یافت؛ اما غلظت روی و منگنز ثابت باقی ماند (کارلن و ویتنی، 1980). برخی مطالعات نشان از عدم وجود ارتباط معنی‌دار بین فسفر خاک و غلظت فسفر گیاه در مراحل مختلف رشد گندم دارد (کوزمینا، 1997). به هر حال مطالعه‌ای روی تغییرات مقادیر شکل‌های پتاسیم در مراحل مختلف رشد گندم و ارتباط آن با پتاسیم گیاه صورت نگرفته است. از اینرو هدف از پژوهش حاضر، مطالعه شکل‌های مختلف پتاسیم شامل پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی خاک سطحی و زیرسطحی و ارتباط آن با پتاسیم گیاه در مراحل مختلف رشد گندم از جوانه زنی تا مرحله رسیدن کامل دانه در یک خاک آهکی می‌باشد. نتایج حاصل می تواند در مدیریت بهینه کودهای پتاسیم شامل زمان مناسب کوددهی، مقدار کود پتاسیم مورد نیاز و زمان حداکثر خطر آبشویی پتاسیم مهم باشد. همچنین نتایج حاصل می‌تواند اهمیت پتاسیم غیرتبادلی و پتاسیم خاک زیرسطحی در تأمین نیاز گیاه را نشان داده و در اصلاح روش‌های مناسب برآورد پتاسیم قابل استفاده خاک نیز مؤثر باشد.

## مواد و روش‌ها

یک مزرعه نه هکتاری که تحت کشت گندم (رقم چمران) در سال زراعی 92-1391 بود انتخاب گردید. این اراضی در جنوب استان فارس با طول جغرافیایی 53 درجه و 1 دقیقه و 49 ثانیه و عرض جغرافیایی 28 درجه و 27 دقیقه و 38 ثانیه و ارتفاع 727 متر از سطح دریاهای آزاد قرار داشتند. خاک های این اراضی در زیرگروه Typic Calciustepts طبقه بندی می‌شوند و رژیم های رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب یوستیک (میانگین بارندگی سالیانه بیشتر از 300 میلی متر) و هایپرترمیک (میانگین درجه حرارت سالیانه بیشتر از 22 درجه سلسیوس) می‌باشد. ویژگی‌های خاک مورد مطالعه در جدول 1 آورده شده است. مهمترین کانی‌های خاک‌های مورد مطالعه کلریت، ایلیت، اسمکتیت و پالیگورسکیت بود (نجفی قیری، 1389). بر اساس نتایج آزمون خاک، به زمین مقدار 100 کیلوگرم سوپرفسفات و 150 کیلوگرم اوره قبل از کشت اضافه شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در هفت زمان مختلف نمونه‌برداری و سه تکرار انجام شد. در این آزمایش زمان‌های نمونه‌برداری (مراحل رشد گیاه) در هفت سطح به عنوان یک فاکتور در نظر گرفته شد. قبل از اولین آبیاری و در شش مرحله رشد گندم بر اساس مقیاس ارائه شده توسط زیداکس و همکاران (1974) شامل مرحله چهاربرگی، پنجه‌زنی، ساقه رفتن، گلدهی، شیری شدن دانه و رسیدن کامل دانه، نمونه‌های خاک از سطح (0 تا 15 سانتیمتر) و عمق (15 تا 30 سانتیمتر) خاک با مته از سه محل مزرعه به صورت تصادفی برداشته شد. نمونه ها از مجاورت بوته‌هایی که جهت آنالیز پتاسیم جمع‌آوری شده بودند برداشت گردید. شش نمونه از بخش هوایی گیاه نیز در شش مرحله بیان شده برداشته شد. نمونه‌های خاک پس از هواخشک کردن از الک دو میلیمتری عبور داده شد و شکل‌های مختلف پتاسیم شامل محلول، تبادلی و غیرتبادلی به روش هلمک

www.SID.ir

Archive of SID

و اسپارکز (1996) اندازه‌گیری گردید. پتاسیم محلول در عصاره اشباع خاک، پتاسیم تبادلی خاک با استات آمونیم یک نرمال پ هاش 7 و پتاسیم غیرتبادلی با اسید نیتریک یک نرمال جوشان اندازه‌گیری گردید. غلظت پتاسیم در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه شعله سنج مدل Corning 405 اندازه‌گیری گردید. پتاسیم غیرتبادلی با کسر مقدار پتاسیم استخراج شده به وسیله اسید نیتریک از استات آمونیم محاسبه گردید. همه اندازه‌گیری‌ها در سه تکرار صورت گرفت و به صورت میانگین بیان گردید.

**جدول 1- برخی ویژگی های خاک های مورد مطالعه**

| ویژگی های خاک | |
|---|---|
| شن، درصد | 15-13 |
| سیلت، درصد | 52-48 |
| رس، درصد | 35-39 |
| کلاس بافت | لوم سیلتی رسی |
| پ هاش | 7/8-7/9 |
| قابلیت هدایت الکتریکی، دسی زیمنس بر متر | 1/4-1/2 |
| ظرفیت تبادل کاتیونی، سانتی مول بر کیلوگرم | 10/2-9/1 |
| کربنات کلسیم معادل، درصد | 62-51 |
| کربن آلی، درصد | 0/9-0/5 |

نمونه‌های گیاهی نیز پس از برداشت با آب مقطر شسته شده و پس از آسیاب در کوره الکتریکی در دمای 550 درجه سانتیگراد خاکستر گردید. خاکستر حاصل با اسید کلریدریک دو مولار عصاره‌گیری و سپس غلظت پتاسیم در آن با دستگاه شعله سنج مدل Corning 405 اندازه‌گیری گردید. جهت آنالیز آماری نمونه‌ها از نرم افزارهای SPSS 15.0 و Microsoft Office Excel 2007 و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح 5 درصد معنی‌داری استفاده شد.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های سطحی و زیرسطحی در مراحل مختلف رشد گندم در جدول 2 آورده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که تغییرات پتاسیم محلول، تبادلی و قابل استخراج با اسید نیتریک در خاک سطحی در مراحل مختلف رشد گندم معنی‌دار می‌باشد.

**جدول 2- تجزیه واریانس شکل‌های مختلف پتاسیم در مراحل مختلف رشد گندم در خاک‌های سطحی و زیرسطحی**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | شکل پتاسیم (افق سطحی) | | | | شکل پتاسیم (افق زیرسطحی) | | | |
| | | محلول | تبادلی | غیرتبادلی | اسید نیتریک | محلول | تبادلی | غیرتبادلی | اسید نیتریک |
| تیمار | 6 | 916/9$^{**}$ | 1307/2$^{**}$ | 378/7$^{ns}$ | 5800/8$^{**}$ | 18/8$^{ns}$ | 434/0$^{ns}$ | 69/1$^{ns}$ | 759/5$^{ns}$ |
| خطا | 14 | 161/4 | 173/0 | 8/1067 | 869/1 | 27/3 | 917/9 | 211/2 | 1171/0 |
| کل | 20 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| ضریب تغییرات (%) | - | 27/1 | 5/9 | 6/5 | 3/8 | 18/2 | 16/1 | 3/2 | 5/1 |

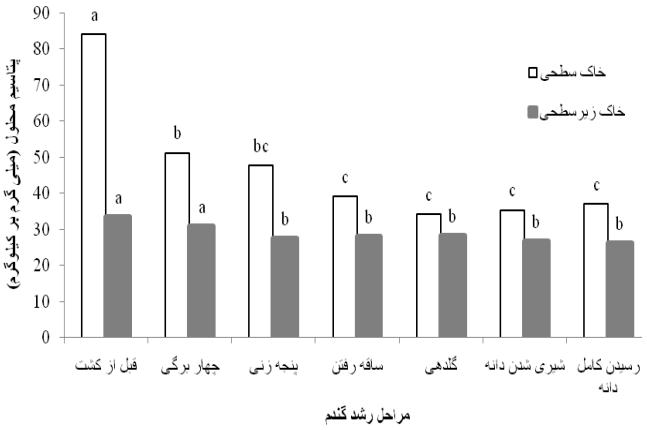
ns، * و ** به ترتیب معنی‌دار نیست، معنی‌دار در سطح 5 درصد و معنی‌دار در سطح 1 درصد

شکل 1 تغییرات پتاسیم محلول در خاک سطحی و زیرسطحی در مراحل مختلف رشد گندم را نشان می-دهد. به طور کلی تغییرات پتاسیم در خاک‌ها دارای نوسان بیشتری نسبت به سایر شکل‌های پتاسیم بوده و به عوامل متعددی بستگی دارد (نجفی قیری و همکاران، 2011). همانطور که مشاهده می‌شود غلظت پتاسیم محلول در مرحله کشت گیاه و قبل از آبیاری (مرحله صفر) در خاک سطحی به طور میانگین 84 میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که در مرحله چهار برگی (مرحله یک) و پنجه زنی (مرحله دو) دچار کاهش محسوسی شده و به ترتیب به 51 و 48 میلی گرم بر کیلوگرم می‌رسد. مقدار پتاسیم محلول از مرحله سوم (طویل شدن ساقه) تا مرحله نهم (رسیدن) در خاک سطحی روند نسبتاً ثابتی را طی می‌کند. تفاوت قابل ملاحظه غلظت پتاسیم محلول قبل از جوانه‌زنی و مرحله

www.SID.ir

Archive of SID

چهار برگی و پنجه زنی می‌تواند به دلیل جذب پتاسیم به وسیله گیاه و یا مربوط به انتقال پتاسیم محلول همراه اولین آب آبیاری به افق های پایین تر (<30 سانتیمتر) باشد. معمولاً با آیش ماندن اراضی و تبخیر رطوبت از سطح خاک، رطوبت زیرسطحی و املاح محلول در آن از طریق مویینگی به سطح منتقل شده (نجفی قیری و همکاران، 2011) و با آبیاری خاک و یا بارندگی مجدداً در خاک زیرسطحی (بیشتر از 30 سانتیمتر) توزیع می‌شود و این می‌تواند نشان دهنده وضعیت بسیار متغیر مقدار پتاسیم محلول در خاک‌ها که قبلاً به آن اشاره شد باشد. تغییرات پتاسیم محلول در خاک زیرسطحی (شکل 1) نشان از تغییرات نامحسوس مقدار آن در مراحل رشد گندم دارد. البته مقدار بالاتر غلظت پتاسیم در مراحل اولیه به دلیل تأثیر رشد گیاه نبوده و شاید بتوان آن را به تأثیرات آبیاری مرتبط دانست. مقایسه خاک سطحی و زیرسطحی نشان از مقادیر بالاتر پتاسیم محلول در خاک سطحی در تمام مراحل رشد گندم دارد که این توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (نجفی قیری و همکاران، 2011؛ ناتاراجان و رنوکادوی، 2003). به هر حال در مراحل اولیه رشد گندم تفاوت مقدار پتاسیم محلول در خاک سطحی و زیرسطحی بسیار زیاد بوده و با گذشت زمان این تفاوت کمتر می‌شود. کمترین تفاوت مربوط به مرحله چهارم رشد گندم می‌باشد.



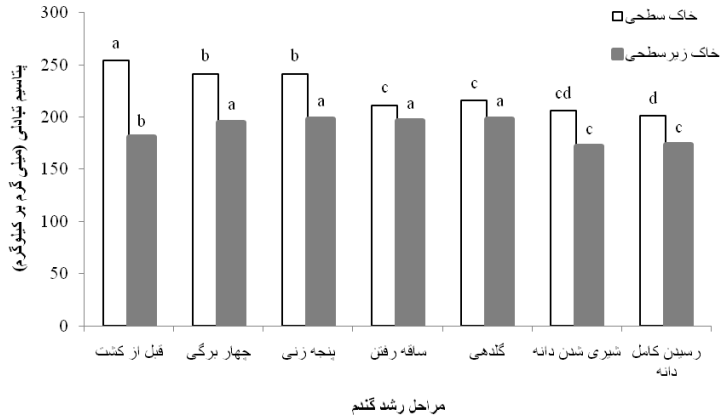

**شکل 1- غلظت پتاسیم محلول در خاک سطحی و زیرسطحی در مراحل مختلف رشد گندم**
**(میانگین‌های با حروف مشترک از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد معنی‌دار نیستند)**

پتاسیم تبادلی خاک سطحی تحت تأثیر مراحل رشد گندم قرار گرفت (جدول 2). نگاهی به شکل 2 نشان می‌دهد که پتاسیم تبادلی نیز همانند پتاسیم محلول در مراحل اولیه پس از آبیاری کاهش معنی‌داری نشان می‌دهد (کاهش از 254 به 242 میلی‌گرم بر کیلوگرم از مرحله صفر به مرحله یک). این کاهش در پتاسیم تبادلی نیز با توجه به زیتوده کم گیاهی نمی‌تواند مرتبط با جذب گیاه باشد. به هر حال ارتباط بین شکل‌های محلول و تبادلی پتاسیم که توسط محققان زیادی گزارش و به اثبات رسیده است در اینجا نیز مشاهده می‌شود (نجفی قیری و همکاران، 2011؛ هاولین و همکاران، 1999)؛ یعنی با انتقال مقداری از پتاسیم محلول از خاک سطحی به اعماق در نتیجه آبیاری و در نتیجه به هم خوردن تعادل، مقداری از پتاسیم تبادلی وارد محلول خاک می‌شود. کاهش معنی‌دار پتاسیم تبادلی در مرحله ساقه روی گندم اتفاق افتاد و مقدار پتاسیم تبادلی در این مرحله به 211 میلی‌گرم بر کیلوگرم رسید. شاید بتوان گفت که این مرحله حداکثر نیاز و حداکثر جذب پتاسیم به وسیله گندم از خاک سطحی را نشان می‌دهد. به هر حال عوامل دیگر مانند آبشویی و تثبیت پتاسیم را نباید نادیده گرفت. به نظر می‌رسد در مرحله ساقه رفتن تمرکز ریشه‌های گندم در افق سطحی بوده و بیشترین میزان جذب عناصر نیز از این لایه صورت می‌گیرد، اما با گذشت زمان و توسعه ریشه در خاک زیرسطحی می‌تواند نقش خاک سطحی کمتر شود (هاولین و همکاران، 1999). تغییرات پتاسیم تبادلی تا مرحله رسیدن کامل دانه محسوس نبوده و در این مرحله کاهش معنی‌داری مشاهده شد. تغییرات پتاسیم تبادلی در خاک زیرسطحی (شکل 2) نیز معنی‌دار بوده و

www.SID.ir

Archive of SID

در مرحله چهاربرگی نسبت به مرحله جوانه زنی افزایش نشان داد. تغییرات معنی‌داری از مرحله چهار برگی (مرحله یک) تا ظهور گل آذین (مرحله چهار) مشاهده نشد. پس از آن کاهش معنی‌داری در مقدار پتاسیم تبادلی در مرحله شیری شدن دانه (مرحله هفتم) اتفاق می‌افتد. به نظر می‌رسد که با گذشت زمان و توسعه ریشه در خاک زیرسطحی، نقش این لایه در تأمین پتاسیم برای گیاه مهم می‌شود. به طور کلی در همه مراحل رشد گندم مقدار پتاسیم تبادلی در خاک سطحی بیشتر از زیرسطحی می‌باشد. این تفاوت در مراحل اولیه رشد گیاه زیاد بوده و با رشد گیاه کمتر شده و در مرحله چهارم رشد گیاه به حداقل مقدار خود می‌رسد.

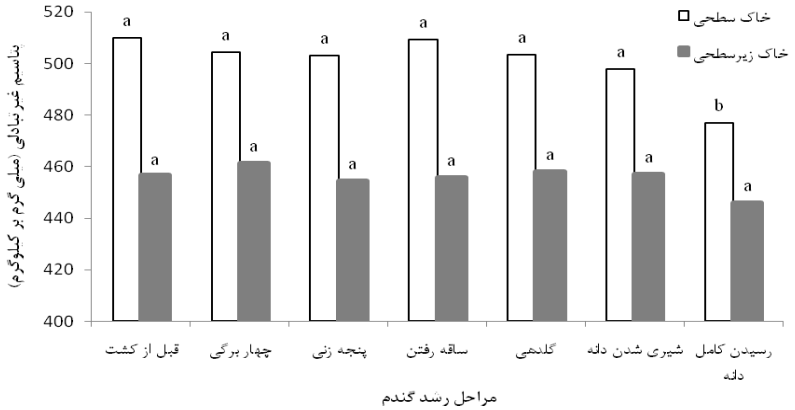



**شکل 2- غلظت پتاسیم تبادلی در خاک سطحی و زیرسطحی در مراحل مختلف رشد گندم**
**(میانگین‌های با حروف مشترک از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد معنی‌دار نیستند)**

پتاسیم غیرتبادلی به عنوان شکلی از پتاسیم که بین لایه‌های کانی‌هایی مانند میکاها، ورمیکولیت و اسمکتیت تثبیت شده است (اسپارکز و هوانگ، 1985) تحت تأثیر مراحل مختلف رشد گیاه قرار نگرفت (جدول 2). باید توجه نمود که اگرچه این شکل پتاسیم تثبیت شده و در کوتاه مدت غیر قابل استفاده است اما با گذشت زمان و جذب پتاسیم محلول و تبادلی خاک، مقداری از آن به فاز تبادلی و محلول وارد شده تا تعادل بین این شکل‌ها در خاک فراهم شود. به هر حال باید توجه داشت که این شکل پتاسیم به کندی قابل استفاده گیاه بوده و آزادسازی آن علاوه بر زمان به عوامل متعددی وابسته می‌باشد (نجفی قیری و همکاران، 2011؛ هاولین و همکاران، 1999). ریشه گندم می‌تواند با ترشح اسیدهای آمینه سبب افزایش سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی از کانی‌های خاک شود (رنگل و دامون، 2008). خاک مورد مطالعه به علت جوان بودن و با توجه به منشاء مواد مادری دارای مقداری میکا بوده (نجفی قیری، 1389) و بنابراین مقدار قابل توجهی پتاسیم به شکل غیرتبادلی در خود ذخیره دارد که با گذشت زمان می‌تواند در اختیار گیاه قرار دهد. شکل 3 نیز نشان می‌دهد که تغییرات کمی در مقدار پتاسیم غیرتبادلی در خاک سطحی در مراحل رشد گندم اتفاق افتاد. در مراحل پایانی رشد گندم (مرحله رسیدن کامل دانه) با توجه به تخلیه مقدار زیادی از پتاسیم محلول و تبادلی خاک، مقداری از پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده و در فاز تبادلی و محلول قرار می‌گیرد. در خاک زیرسطحی این تغییرات معنی‌دار نبوده و به نظر می‌رسد نقش پتاسیم غیرتبادلی در تأمین نیاز گیاه در طول یک فصل رشد در خاک مورد مطالعه محدود به افق سطحی می‌باشد. در تمام مراحل رشد گندم تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین پتاسیم غیرتبادلی در خاک سطحی و خاک زیرسطحی وجود دارد.

www.SID.ir

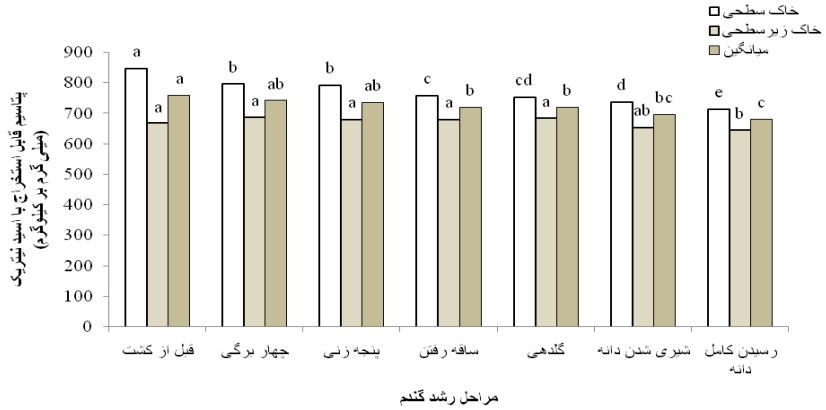
Archive of SID




**شکل 3- غلظت پتاسیم غیرتبادلی در خاک سطحی و زیرسطحی در مراحل مختلف رشد گندم**
**(میانگین‌های با حروف مشترک از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد معنی‌دار نیستند)**

شکل چهارم پتاسیم (پتاسیم ساختمانی) شکل غیرقابل استفاده گیاه بوده و یک فصل رشد زمان ناکافی جهت هوادیدگی کانیها و آزادسازی این شکل پتاسیم و جذب به وسیله گیاه می‌باشد (هاولین و همکاران، 1999). بنابراین مقدار پتاسیم جذب شده به وسیله گیاه در خلال یک فصل از فاز محلول، تبادلی و غیرتبادلی می‌باشد. مجموع این سه شکل پتاسیم، پتاسیم قابل استخراج به وسیله اسید نیتریک نامیده می‌شود و مقدار آن در خاک سطحی تحت تأثیر گیاه قرار گرفته است (جدول 2). تغییرات این شکل پتاسیم در مراحل مختلف رشد گیاه در خاک سطحی، خاک زیرسطحی و میانگین آن در شکل 4 آورده شده است. کاهش معنی‌دار پتاسیم در خاک سطحی در مرحله ساقه روی اتفاق افتاده و این نشان از حداکثر آهنگ جذب پتاسیم به وسیله گندم در این مرحله است.

البته عوامل دیگر مانند آبشویی پتاسیم و تثبیت آن را نیز باید در نظر گرفت. در مراحل نهایی رشد گیاه (مراحل گلدهی و رسیدن و رسیدن کامل دانه) نیز کاهش مقدار پتاسیم در خاک سطحی دیده می‌شود. تغییرات پتاسیم در خاک زیرسطحی تا مرحله هفتم (مرحله گلدهی) معنی‌دار نبوده ولی در مرحله رسیدن به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. با توجه به نمودار تغییرات پتاسیم در هر دو افق (شکل 4) حداکثر مقدار کاهش پتاسیم قابل استخراج به وسیله اسید نیتریک در مرحله ساقه روی اتفاق می‌افتد. گرگوری و همکاران (1979) بیان می‌کنند که حداکثر جذب پتاسیم به وسیله گندم در مرحله رشد سریع آن روی می‌دهد.




**شکل 4- غلظت پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک در خاک سطحی، زیرسطحی و میانگین دو افق خاک در مراحل مختلف رشد گندم**
**(میانگین‌های با حروف مشترک از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد معنی‌دار نیستند)**

به طور کلی می‌توان بیان کرد که مقدار کاهش غلظت پتاسیم در نتیجه رشد گندم در افق سطحی، زیرسطحی و میانگین دو افق به ترتیب 133، 25 و 79 میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشد (جدول 2). این بدان معنی

www.SID.ir

Archive of SID

است که میزان کاهش پتاسیم قابل استخرج به وسیله اسید نیتریک در خاک سطحی بیش از پنج برابر خاک زیرسطحی می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که ممکن است در خلال فصل رشد مقداری از پتاسیم افق سطحی همراه آب آبیاری به افق زیرسطحی منتقل شده و بنابراین مقدار کاهش پتاسیم در افق زیرسطحی تا حدودی تعدیل شود. کاهش پتاسیم محلول و تبادلی در افق سطحی در نتیجه رشد گیاه به اندازه هم و بیشتر از پتاسیم غیرتبادلی می‌باشد. در افق زیرسطحی کاهش هر سه شکل پتاسیم کمتر از افق زیرسطحی بوده و اختلاف معنی‌داری بین این سه شکل پتاسیم وجود ندارد.

**جدول 2- مقدار و درصد پتاسیم جذب شده از فاز محلول، تبادلی و غیرتبادلی در افق‌های سطحی، زیرسطحی و مجموع افق‌ها به وسیله گندم**

| شکل های پتاسیم | عمق (سانتیمتر) | مقدار (میلی گرم بر کیلوگرم) | درصد از کل* |
|---|---|---|---|
| محلول | 15-0 | 47 | 30[a] |
| | 30-15 | 7 | 5[c] |
| | 30-0 | 27 | 35 |
| تبادلی | 15-0 | 53 | 33[a] |
| | 30-15 | 7 | 4[c] |
| | 30-0 | 30 | 37 |
| غیرتبادلی | 15-0 | 33 | 21[b] |
| | 30-15 | 11 | 7[c] |
| | 30-0 | 22 | 28 |
| مجموع شکل ها | 15-0 | 133 | 84 |
| | 30-15 | 25 | 16 |
| | 30-0 | 79 | 100 |

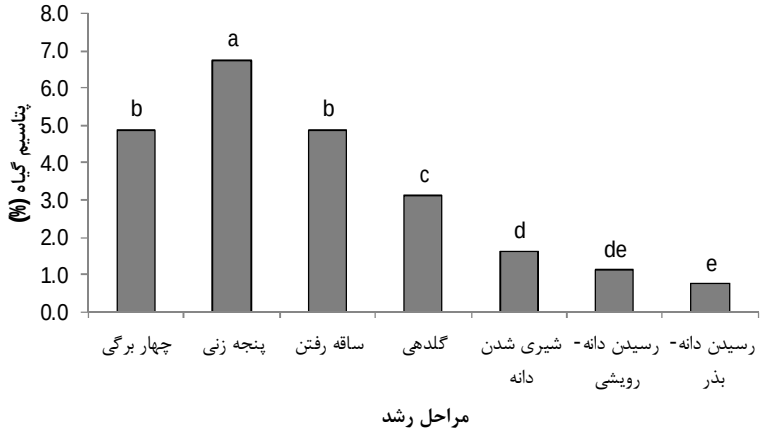
* درصد از کل از تقسیم ستون مقدار بر مجموع پتاسیم جذب شده به وسیله گیاه به دست می‌آید.

a، b و c: میانگین‌های با حروف مشترک از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد معنی‌دار نیستند

شکل 5 غلظت پتاسیم در بافت گیاه در مراحل مختلف رشد و در بذر را نشان می‌دهد. در مرحله چهاربرگی، غلظت پتاسیم در گیاه 4/9 درصد بوده که در مرحله پنجه‌زنی به حداکثر مقدار خود می‌رسد و پس از آن کاهش یافته تا در نهایت در اندام‌های هوایی به 1/1 درصد و در بذر به 0/8 درصد می‌رسد. ارتباط معنی‌داری بین مقدار تخلیه پتاسیم خاک و غلظت پتاسیم در مراحل رشد گندم به دست نیامد. اگرچه کاهش پتاسیم خاک در مرحله ساقه روی اتفاق می‌افتد اما حداکثر غلظت پتاسیم در گیاه در مرحله پنجه‌زنی مشاهده شد. به هر حال جهت تعیین مقدار پتاسیم جذب شده، سرعت رشد گیاه نیز باید در محاسبات در نظر گرفته شود. چرا که در این مرحله اگر چه غلظت پتاسیم کمتر از مرحله پنجه زنی می‌باشد اما مقدار کل پتاسیم جذب شده به وسیله گیاه با توجه به وزن خشک بالاتر گیاه می‌تواند بیشتر باشد (اثر رقت پتاسیم در نتیجه رشد سریع گیاه). از طرف دیگر عوامل دیگری مانند آبشویی پتاسیم و تثبیت آن نیز می‌تواند روی تغییرات پتاسیم اثر گذاشته باشد. زاهدی فر و همکاران (1390) نیز بیان کردند که غلظت فسفر و روی از انتهای پنجه زنی تا مرحله رسیدن در اندام‌های هوایی گندم در شرایط مزرعه کاهش یافت. ایشان نیز ارتباط معنی‌داری بین غلظت فسفر و روی در اندام‌های هوایی گیاه و غلظت آن در خاک پیدا نکردند. به هر حال گزارشات متعدد نشان می‌دهد که غلظت عناصر مورد نیاز گیاه در مراحل مختلف رشد و در قسمت‌های مختلف گیاه می‌تواند ثابت مانده و یا تغییرات کاهش و افزایشی را نشان دهد (داروب و همکاران، 2003؛ اکولی و همکاران، 2008؛ کارلن و ویتنی، 1980؛ شولت و هرلیهای، 2007؛ زیادی و همکاران، 2008).

www.SID.ir

Archive of SID




**شکل 5- غلظت پتاسیم کل در بذر و اندام‌های هوایی در مراحل مختلف رشد گندم**

## نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی می‌توان بیان کرد که مقدار پتاسیم خاک در شکل‌های مختلف تحت تأثیر کشت گندم قرار گرفت. البته این تأثیر برای خاک سطحی مشهودتر از خاک زیرسطحی بود. تغییرات پتاسیم در نتیجه کشت گندم می‌تواند مربوط به جذب این عنصر به وسیله گیاه، آبشویی آن در نتیجه آبیاری، آزادسازی و تثبیت آن به وسیله کانی‌هایی مانند ایلیت و اسمکتیت و یا غیرمتحرک شدن آن به وسیله ریزجانداران خاک باشد. به طور کلی پتاسیم محلول، تبادلی و قابل استخراج با اسید نیتریک در خاک سطحی تحت تأثیر کشت گندم قرار گرفت و کاهش یافت اما پتاسیم غیرتبادلی در خاک سطحی و شکل‌های پتاسیم در خاک‌های زیرسطحی مستثنی از این تغییرات بودند. آگاهی از این تغییرات می‌تواند در پیش بینی مناسب‌ترین زمان مصرف کودهای پتاسیم و همچنین پیش بینی محتمل‌ترین زمان بروز کمبود پتاسیم خاک مؤثر باشد. به طور کلی نتایج نشان داد که بیشترین آهنگ جذب پتاسیم در مرحله ساقه رفتن اتفاق می‌افتد و بنابراین افزودن کودهای محلول پتاسیم به صورت کودآبیاری و یا محلول‌پاشی برگ بهتر است در این مرحله و یا اندکی قبل از آن باشد. البته استفاده خاکی پتاسیم معمولاً به دلیل سرعت کم پخشیدگی و انتقال این عنصر در خاک قبل و یا همزمان با کشت می‌باشد.

## فهرست منابع:

1. زاهدی فر، م.، ن.کریمیان، ع.م. رونقی، ج. یثربی و ی. امام. 1390. توزیع فسفر و روی در اندام ها و در مراحل مختلف رشد گندم در مزرعه. نشریه آب و خاک، 25(3): 436-445.

2. Daroub, S. H., A. Gerakis, J. T. Ritchie, D. K. Friesen and J. Ryan. 2003. Development of a soil-plant phosphorus simulation model for calcareous and weathered tropical soils. Agricultural Systems, 76(3): 1157-1181.
3. Ercoli, L., L. Lulli, M. Mariotti, A. Masoni and I. Arduini. 2008. Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability. European journal of agronomy, 28(2): 138-147.
4. Gregory, P., D. Crawford and M. McGowan. 1979. Nutrient relations of winter wheat: 1. Accumulation and distribution of Na, K, Ca, Mg, P, S and N. The Journal of Agricultural Science, 93(02): 485-494.
5. Havlin, J., J. Beaton, S. Tisdale and W. Nelson. 1999. Soil Fertility and Fertilizers. Ed. Pretince Hall, New Jersey,
6. Helmke, P., D. Sparks, A. Page, R. Loeppert, P. Soltanpour, M. Tabatabai, C. Johnston and M. Sumner. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. Methods of soil analysis. Part 3-chemical methods., 551-574.

www.SID.ir

Archive of SID

7. Karlen, D. and D. Whitney. 1980. Dry matter accumulation, mineral concentrations, and nutrient distribution in winter wheat. Agronomy Journal, 72(2): 281-288.
8. Kuzmina, N. A. 1997. Nitrogen, phosphorus and potassium concentrations and their balance of durum wheat plants during different growth stages. Plant nutrition for sustainable food production and environment, Springer: 97-98.
9. Najafi-Ghiri, M. (2010). Study of morphological and mineralogical properties and potassium status of soils of Fars province, PhD Thesis, Department of Soil Science, Shiraz University, Iran.
10. Najafi-Ghiri, M., A. Abtahi and F. Jaberian. 2011. Factors affecting potassium release in calcareous soils of southern Iran. Soil Research, 49(6): 529-537.
11. Najafi-Ghiri, M., A. Abtahi, F. Jaberian and H. Owliaie. 2010. Relationship between soil potassium forms and mineralogy in highly calcareous soils of southern Iran. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 4(3): 434-441.
12. Najafi-Ghiri, M., A. Abtahi, H. Owliaie, S. S. Hashemi and H. Koohkan. 2011. Factors Affecting Potassium Pools Distribution in Calcareous Soils of Southern Iran. Arid Land Research and Management, 25(4): 313-327.
13. Natarajan, S. and A. Renukadevi. 2003. Vertical distribution of forms of potassium in major soil series of Tamil Nadu. Acta agronomica hungarica, 51(3): 339-346.
14. Rengel, Z. and P. M. Damon. 2008. Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use. Physiologia Plantarum, 133(4): 624-636.
15. Schulte, R. and M. Herlihy. 2007. Quantifying responses to phosphorus in Irish grasslands: Interactions of soil and fertiliser with yield and P concentration. European journal of agronomy, 26(2): 144-153.
16. Sparks, D. and P. Huang. 1985. Physical chemistry of soil potassium. Potassium in agriculture, potassiuminagri): 201-276.
17. ZADOKS, J. C., T. T. CHANG and C. F. KONZAK. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed research, 14(6): 415-421.
18. Ziadi, N., G. Bélanger, A. N. Cambouris, N. Tremblay, M. C. Nolin and A. Claessens. 2008. Relationship between phosphorus and nitrogen concentrations in spring wheat. Agronomy Journal, 100(1): 80-86.

www.SID.ir